

Pengaruh Nanokitosan-Ag/Cu pada Perkembangan Penyakit Antraknosa pada Cabai

(The Effect of Ag/Cu-nanochitosan on Development of Anthracnose Disease in Chili)

Deden Dewantara Eris^{1*}, Sri Wahyuni¹, Soekarno Mismana Putra¹, Ciptadi Achmad Yusup¹, Agustin Sri Mulyatni¹, Siswanto¹, Eti Heni Krestini², Christina Winarti³

(Diterima September 2018/Disetujui Maret 2019)

ABSTRAK

Penyakit tanaman yang sering ditemukan menyerang cabai pada masa prapanen maupun pascapanen adalah penyakit busuk buah atau yang lebih dikenal dengan antraknosa. Antraknosa pada buah cabai disebabkan oleh cendawan *Colletotrichum capsici*. Saat ini, dalam pengendalian antraknosa diperlukan biofungisida yang efektif, aman, dan ramah terhadap lingkungan serta manusia. Oleh karena itu, dikembangkan biofungisida berbasis kitosan. Kitosan telah banyak dilaporkan peranannya sebagai antimikrob (virus, bakteri, dan jamur) penyebab penyakit pada tanaman. Pengembangan lebih lanjut kitosan dalam rangka meningkatkan aktivitas antimikrob dilakukan dengan sintesis nanokitosan-Ag/Cu. Berdasarkan pengujian diketahui bahwa pada skala laboratorium, Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPs 1000 ppm mampu menghambat pertumbuhan cendawan *Colletotrichum capsici* sebesar 17,3 dan 42,3%, sedangkan pada skala rumah kaca perlakuan Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPs 1000 ppm berpotensi secara signifikan menghambat perkembangan *Colletotrichum capsici* yang ditunjukkan dengan penekanan kejadian penyakit pada tanaman cabai varietas Tanjung, Ciko, dan Kencana. Secara mikroskopis aktivitas senyawa antimikrob pada keduanya menyebabkan kerusakan pada hifa cendawan yang ditandai dengan malformasi yang menyebabkan hambatan pada pertumbuhan hifa. Pada cawan petri ditunjukkan dengan timbulnya zona hambat berupa wilayah bening di sekitar kertas cakram yang diberi perlakuan.

Kata kunci: Ag, antraknosa, Cabai, Cu, nanokitosan

ABSTRACT

Plant disease that often attacks the chili both in pre- and postharvest is fruit rot or commonly called with antracnose. Antracnose is caused by the attack of fungus *Colletotrichum capsici*. To control it, fungicides which are effective, safe for environmental and human are needed. For that purpose, people develop chitosanbased fungicide. Chitosan has been widely reported has an antimicrobial role for viral, bacterial, and fungal which can cause disease in plants. Further development of chitosan in order to increase antimicrobial activity is by the synthesis of Ag/Cu-Chitosan nanoparticles. Based on tests, it is known that both in the laboratory and greenhouse scale, Ag-ChNPs at a dose of 500 ppm and Cu-ChNPs at a dose of 1000 ppm have an inhibition effect on growth of *Colletotrichum capsici* by 17.3 and 42.3% meanwhile the treatment of Ag-ChNPs at a dose of 500 ppm and Cu-ChNPs at a dose of 1000 ppm were significantly potential in suppressing the incidence of the diseases on Tanjung, Ciko, and Kencana varieties of chili in greenhouse. Microscopically, the activities of antimicrobial compounds of Ag/Cu-Chitosan nanoparticles cause a damage to the fungal hyphae which is characterized by malformations that lead to the inhibition of hyphae growth. In the petri dish it was shown by the emergence of inhibition zone in the form of clear area around the treated disc paper.

Keywords: Ag, antracnose, Chili, Cu, nanochitosan

PENDAHULUAN

Usaha budi daya cabai cukup memiliki risiko dan kendala yang tinggi dalam pelaksanaannya. Kendala yang sering muncul salah satunya adalah serangan

OPT (organisme pengganggu tanaman), baik hama maupun penyakit tanaman yang dapat menyebabkan gagal panen. Penyakit tanaman yang sering muncul pada buah cabai, baik sebelum maupun setelah panen, adalah antraknosa yang menyebabkan kehilangan hasil sebesar 20–100% (Prathibha *et al.* 2013; Diao *et al.* 2017). Penyakit antraknosa disebabkan oleh serangan cendawan *Colletotrichum capsici* dan *Gloeosporium piperatum* (Oo & Oh 2016). Hingga sejauh ini, pengendalian penyakit antraknosa dilakukan menggunakan pestisida sintetik, baik pada prapanen maupun pascapanen. Pengendalian prapanen dan pascapanen cabai dengan biofungisida sintetik

¹ Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jl. Taman Kencana No.1, Bogor 16128

² Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Jl. Tangkuban Perahu No. 517, Lembang 40391

³ Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Jl. Tentara Pelajar 12 A, Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Bogor 16122

* Penulis Korespondensi: Email: dewantara40@gmail.com

akan memberikan dampak buruk bagi kesehatan manusia sehingga penggunaan bahan alami sebagai pengganti pestisida sintetik sangat diharapkan agar hasil pertanian dapat dikonsumsi dengan aman (Ghoname *et al.* 2010).

Salah satu bahan alami yang sering digunakan sebagai bahan antimikrob adalah kitosan. Kitosan telah banyak dilaporkan peranannya dalam menghambat perkembangan virus, bakteri, dan jamur penyebab penyakit pada tanaman. Bahan penyusun kitosan dapat berupa cangkang rajungan, kulit udang, atau cangkang serangga. Kitosan untuk pengendalian penyakit prapanen dan pascapanen pada tanaman hortikultura telah dilaporkan oleh Ali *et al.* (2010) yang menyatakan bahwa konsentrasi minimal kitosan dalam menghambat pertumbuhan bakteri berkisar 10–10.000 ppm, sedangkan pada jamur patogen bervariasi. *Lethal D₅₀* kitosan terhadap jamur patogen berkisar 0,52–0,57 g/L (El Hadrami *et al.* 2010). Nurwardani (2008) membuktikan bahwa kitosan berkisar 0,75–1,75% mampu menghambat diameter koloni jamur *Colletotrichum capsici* pada cabai, serta menyebabkan perubahan morfologi hifa. Hamdayanty *et al.* (2012) melaporkan bahwa kitosan konsentrasi sebesar 0,75% selain dapat menekan kejadian dan keparahan penyakit antraknosa pada buah pepaya, juga meningkatkan daya simpan buah 2 kali lebih lama dibandingkan dengan kontrol.

Dalam perkembangannya untuk meningkatkan aktivitas antibakteri dan antifungi, kitosan dapat dipadukan dengan senyawa logam, seperti Ag dan Cu, dalam konsentrasi kecil yang memiliki sifat antimikrob diformulasikan dalam bentuk nanopartikel (Chowdappa *et al.* 2014; Choudhary *et al.* 2017). Komposit nanokitosan dan logam (*chitosan encapsulated metals*) terbukti tidak beracun karena bersifat *slow release* dan menunjukkan efek jangka panjang pada tanaman (Muzzarelli 2010; Choudhary *et al.* 2017). Chowdappa *et al.* (2014) melaporkan bahwa pemberian nanopartikel silver pada kitosan efektif dalam mengendalikan *Colletotrichum gloeosporioides* penyebab antraknosa pada buah mangga. Zain *et al.* (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nanokomposit Ag-kitosan dapat menekan pertumbuhan *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli* dengan konsentrasi minimum masing-masing 0,054 dan 0,076 mg/L. Saharan *et al.* (2015) melaporkan bahwa komposit Cu-kitosan nanopartikel terbukti memiliki potensi yang sangat baik sebagai agen antijamur terhadap penyakit pada tanaman tomat. Pada konsentrasi 0,12% nanopartikel Cu-Kitosan menyebabkan sebesar 70,5 dan 73,5% penghambatan pertumbuhan miselia *Alternaria solani* dan *Fusarium oxysporum*.

Pada penelitian ini pengendalian antraknosa pada cabai dilakukan dengan mengembangkan sintesis logam Ag/Cu untuk digandengkan dengan kitosan sehingga untuk mengendalikan penyakit cabai dalam upaya mengurangi ketergantungan pada pestisida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian nanokitosan-Ag/Cu pada perkembangan penyakit antraknosa pada tanaman cabai.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dan rumah kaca Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia (PPBBI) pada Maret–November 2017. Pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi nanopartikel-Ag/Cu kitosan. Selain itu dilakukan pula efikasi larutan nanokitosan Ag/Cu di cawan petri dan pada tanaman cabai. Faktor percobaan meliputi jenis, dosis larutan nanokitosan Ag/Cu, dan varietas tanaman cabai.

Sintesis dan Karakterisasi Nanokitosan-Ag/Cu (Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs)

Sintesis nanopartikel Ag/Cu-kitosan (Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs) dilakukan dengan melarutkan 0,2 g kitosan dalam 100 mL asam asetat 1,5% menggunakan erlenmeyer dan *magnetic stirrer* hingga homogen, kemudian disaring untuk menghilangkan pengotor menggunakan kertas saring. Selanjutnya, beberapa tetes larutan *Sodium Tripholy Phosphate* (STPP) 1% ditambahkan dengan menggunakan pipet tetes dan dihomogenkan selama 1 jam menggunakan *sonicator*. Sebanyak 2 mL campuran larutan (AgNO₃ atau CuSO₄) 30 µM dan 0,3 mL NaOH 0,3 M ditambahkan menggunakan pipet dan dihomogenkan kembali selama 1 jam dengan menggunakan *sonicator*. Larutan yang telah dingin kemudian diukur dan ditetapkan pHnya menjadi 10 menggunakan pHmeter (yang ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna kuning untuk Ag-ChNPs dan biru untuk Cu-ChNPs). Endapan dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada 5.000 rpm pada suhu 25°C selama 15 menit. Endapan kemudian dicuci dengan air distilasi selama 5 kali (hingga pH netral) kemudian dikeringkan menggunakan *freeze dryer* pada suhu 3–5°C (modifikasi dari Chowdappa *et al.* 2014; Choudhary *et al.* 2017). Karakterisasi nanopartikel kitosan dilakukan melalui pengujian PSA (*Particle Size Analysis*) dan UV-Vis spektrofotometri (Shimadzu UV-1700). Pengujian PSA untuk menganalisis distribusi ukuran partikel dilakukan di Laboratorium Pengujian Balai Besar Pascapanen Kementerian Pertanian, Bogor. Pengujian UV-Vis spektrofotometri untuk mengetahui serapan atom dilakukan pada panjang gelombang berkisar 350–600 nm di Laboratorium Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, sedangkan uji efektivitas komposit nanopartikel kitosan-Ag/Cu untuk penghambatan jamur patogen menggunakan teknik *disk diffusion method* yang dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia mengikuti Ali *et al.* (2010).

Pengujian Efektivitas

Cendawan patogen penyebab antraknosa, yakni cendawan *Colletotrichum capsici*, diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Sayuran (Balitsa), Lembang. Selanjutnya, kertas cakram steril dengan diameter 5,5 mm diletakkan mengelilingi inokulum cendawan patogen yang diujikan dengan jarak masing-masing 3

cm pada inokulum cendawan patogen berdiameter 10 mm yang ditempatkan di tengah-tengah cawan petri berisi media *Potato Dextrose Agar* (PDA). Kertas cakram tersebut kemudian ditetesi dengan larutan nanokitosan Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs pada konsentrasi 0, 100, 500, dan 1000 ppm masing-masing sebanyak 20 µl. Perlakuan kontrol dilakukan dengan meneteskan air steril. Cawan petri tersebut selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama 3–7 hari. Aktivitas anti *Colletotrichum capsici* dihitung dengan mengukur lebar zona penghambatan yang terbentuk. Zona hambat yang terbentuk ditunjukkan dengan area bening sebagai area penghambatan pertumbuhan koloni cendawan patogen. Adapun penghitungannya menggunakan rumus penghambatan (%) = lebar zona bening/lebar koloni cendawan x 100% (Hartati *et al.* 2018).

Penyiapan Tiga Varietas Tanaman Cabai

Benih cabai dari tiga varietas berbeda, yakni Varietas Tanjung, Ciko, dan Kencana disemai dan ditumbuhkan pada media pembibitan. Setelah bibit berumur 21 hari setelah penyemaian (HSP), selanjutnya dipindah tanamkan ke polibag berukuran 35 x 35 cm yang telah diisi tanah steril. Pemeliharaan tanaman, yakni dengan penyiraman, pemupukan sesuai standar (Harpenas & Dermawan 2010), serta pengendalian hama. Pupuk yang digunakan adalah NPK mutiara konsentrasi 10 g/L dan pupuk daun gandasil 3 g/L. Kegiatan pemeliharaan tanaman yang lain meliputi penyiraman, pewiilan, dan penyiangan rumput yang tumbuh di sekitar polibag. Tanaman ditempatkan di rumah kaca selama kegiatan penelitian berlangsung. Pengendalian hama dilakukan dengan mengaplikasikan insektisida Matador™ berbahan aktif Lambda Sihlotrin 25 g/L dan diaplikasikan pada saat terjadi ledakan serangan hama.

Penyiapan Larutan Uji pada Tanaman

Perlakuan yang diujikan terdiri atas 3 jenis larutan, antara lain kontrol menggunakan air, larutan nanokitosan-Ag (Ag-ChNPs) 500 ppm (0,05 g Ag-ChNPs padat dalam 100 mL air), dan larutan nanokitosan-Cu (Cu-ChNPs) 1000 ppm (0,1 g Cu-ChNPs padat dalam 100 mL air). Aplikasi larutan uji dilakukan sebagai tindakan preventif terhadap serangan penyakit pada saat umur tanaman cabai 2 minggu menjelang fase generatif.

Peremajaan Patogen, Inokulasi Buatan *Colletotrichum capsici*, dan Pengujian pada Tanaman Cabai

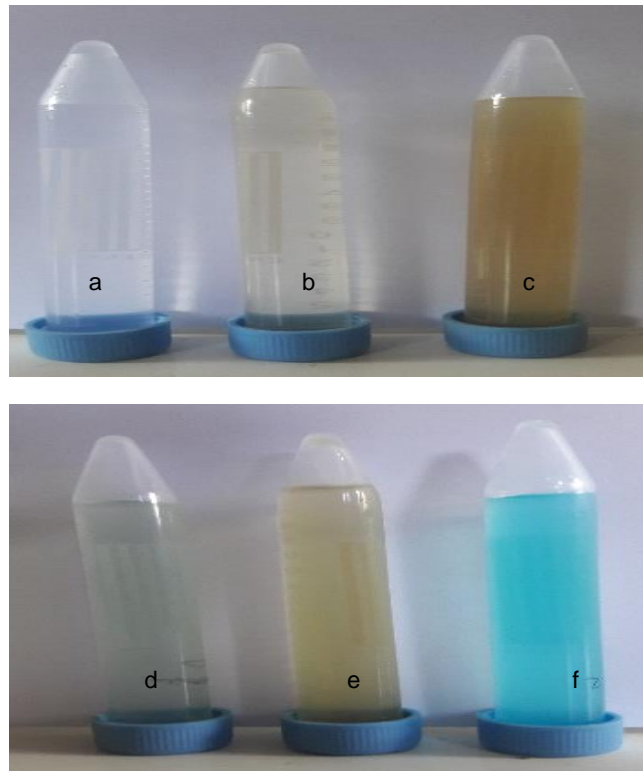
Inokulum cendawan patogen diremajakan dengan cara menempatkan satu cuplik inokulum *Colletotrichum capsici* berdiameter 10 mm pada media PDA dalam cawan petri dan diinkubasi pada suhu 28°C dengan penyinaran 12 jam/hari selama 7 hari. Setelah 7 hari masa inkubasi konidia cendawan *Colletotrichum capsici* dipanen dengan mengeluarkan masa konidia dan menempatkannya dalam *beker glass* yang telah berisi 100 mL air steril. Selanjutnya, massa konidia

dihomogenkan dan disaring dengan menggunakan kain *moslen*. Kepadatan inokulum minimal yang digunakan, yakni sebanyak 10^5 konidia/mL hingga diperoleh larutan suspensi konidia sebanyak 9 L. Kepadatan suspensi, yakni 10^5 konidia/mL merupakan kepadatan yang dianjurkan dalam inokulasi buatan patogen cendawan *Colletotrichum capsici* (Suwor *et al.* 2015). Selanjutnya, 9 L suspensi cendawan *Colletotrichum capsici* tersebut diaplikasikan dengan cara disemprotkan (masing-masing 100 mL) pada saat tanaman memasuki fase generatif di bagian buah dan daun tanaman cabai uji (9 tanaman per perlakuan dengan 3 ulangan). Pengamatan dilakukan pada 3 minggu setelah aplikasi (MSA).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter Visual Nanokitosan Ag dan Cu (Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs)

Penampakan visual Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs ditunjukkan pada Gambar 1. Indikasi pembentukan Ag dapat dilihat dari perubahan warna larutan, yakni dari bening menjadi kuning kecokelatan. Hal ini mendukung pernyataan Chowdappa *et al.* (2014). Sementara itu, indikasi pembentukan Cu dapat dilihat dari perubahan warna larutan dari bening menjadi biru tua, hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Saharan *et al.* (2015). Pada kegiatan sintesis diketahui bahwa nanopartikel kitosan-Ag/Cu terbentuk pada saat



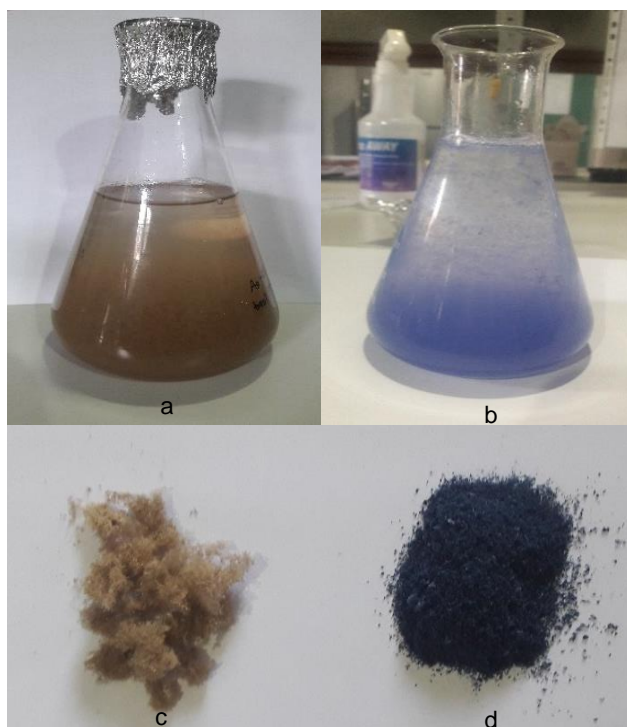
Gambar 1 Karakter warna larutan saat pembentukan nanokitosan-Ag/Cu a) larutan AgNO₃ 30 µM, b) kitosan 0,2%, c) AgChNPs, d) Larutan CuSO₄ 30 µM, e) kitosan 0,2%, dan f) CuChNPs.

pengaturan pH menjadi pH 10, endapan kuning (Ag-ChNPs), dan biru tua (Cu-ChNPs) yang terbentuk yang merupakan hasil pencangkakan Cu dan Ag ke dalam rantai cincin kitosan (Gambar 2).

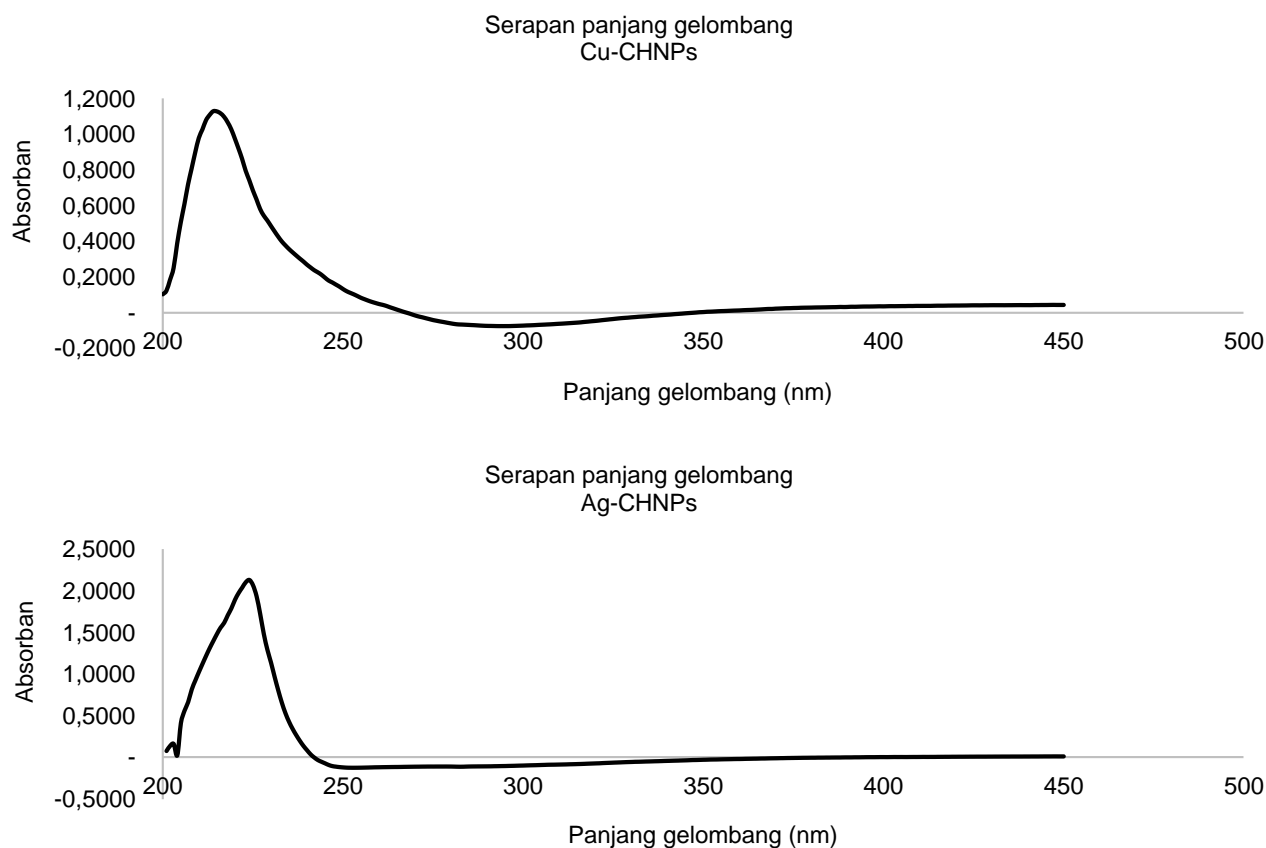
Berdasarkan pengukuran UV-Vis spektrofotometer diketahui bahwa spektrum absorbansi yang berhasil terukur merupakan spektrum sinar tampak yang diserap oleh nanokitosan-Ag-Cu (Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs) (Gambar 3). Data yang diperoleh menunjukkan nilai optimum serapan gelombang sinar tampak pada panjang gelombang 214 nm pada saat pengukuran larutan Ag-ChNPs dan 223 nm pada saat pengukuran larutan Cu-ChNPs.

Data pengukuran PSA (*Particle Size Analysis*) menunjukkan nanokitosan Ag-ChNPs memiliki ukuran partikel rata-rata sebesar 210,6 nm, sedangkan untuk Cu-ChNPs memiliki ukuran partikel rata-rata sebesar 489,5 nm (Gambar 4). Hal ini sesuai dengan Tiyafoonchai (2003) yang menyebutkan bahwa nanopartikel merupakan partikel koloid dengan ukuran diameter berkisar 1–1000 nm.

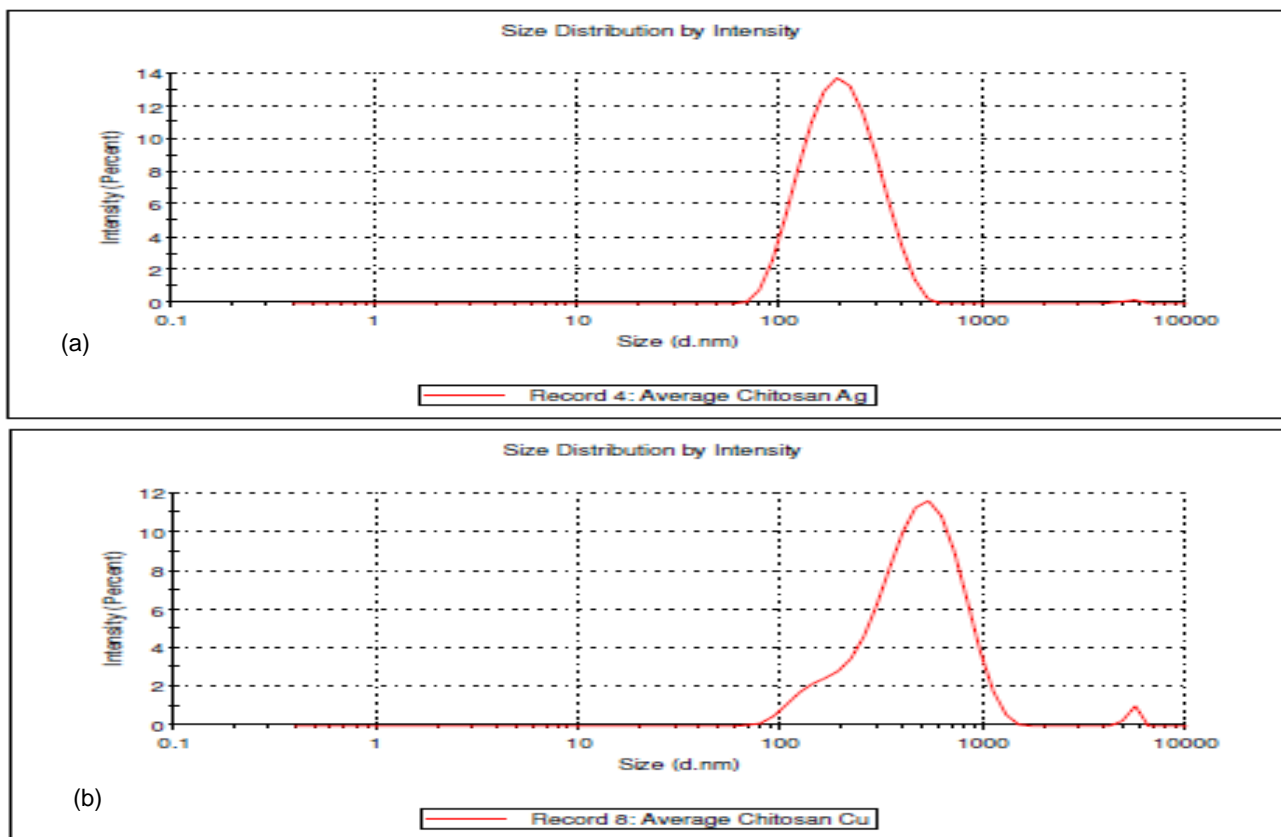
Ukuran partikel yang sangat kecil (nanometer) menyebabkan efektivitas biopestisida menjadi lebih meningkat. Rismana *et al.* (2014) menyatakan bahwa teknologi nano memiliki keunggulan, antara lain dapat meningkatkan kelarutan senyawa, mengurangi dosis, dan meningkatkan absorpsi pada jaringan. Berdasarkan keefektifan tersebut saat ini pemanfaatan teknologi nano dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman



Gambar 2 Morfologi pembentukan nanokitosan-Ag/Cu antara lain fase larutan (atas): a) AgChNPs dan b) AgChNPs dan fase padat (bawah), c) AgChNPs, dan d) CuChNPs.



Gambar 3 Spektrum serapan sinar UV dari Ag-ChNPs dan Cu-ChNPs pada pengukuran pada panjang gelombang 350–600 nm.



Gambar 4 Size distribution nanopartikel a) Ag-kitosan dan b) Cu-kitosan.

telah dilakukan, salah satunya dengan kombinasi bio-pestisida (Ghormade *et al.* 2011; Kalantari *et al.* 2012).

Respons Perkembangan Cendawan *Colletotrichum capsici* pada Pemberian Nanokitosan Ag-ChNPs dan Cu-ChNPS di Laboratorium

Inokulum cendawan *Colletotrichum capsici* hasil peremajaan diperoleh setelah 7 hari masa inkubasi menunjukkan pertumbuhan yang baik pada cawan petri. Beberapa karakter morfologis cendawan menunjukkan persamaan dengan yang disampaikan Acedo & Weinberger (2010) bahwa di antaranya mempunyai bentuk spora silindris, ujung spora tumpul, ukuran spora 16,1 x 5,6 μm dengan kecepatan tumbuh 12,5 mm/hari, aservulus membentuk cakram dengan beberapa bulu atau duri berwarna cokelat tua, konidia berbentuk silindris dengan ujung tumpul, tidak bersepta, dan berinti satu. Sementara itu, konidiofor pendek dan dihasilkan serta mirip rambut berwarna hitam. Harahap *et al.* (2013) menambahkan bahwa rata-rata suhu optimum untuk pertumbuhan *Colletotrichum capsici* adalah pada 25–30°C dan pertumbuhan maksimumnya adalah 25°C.

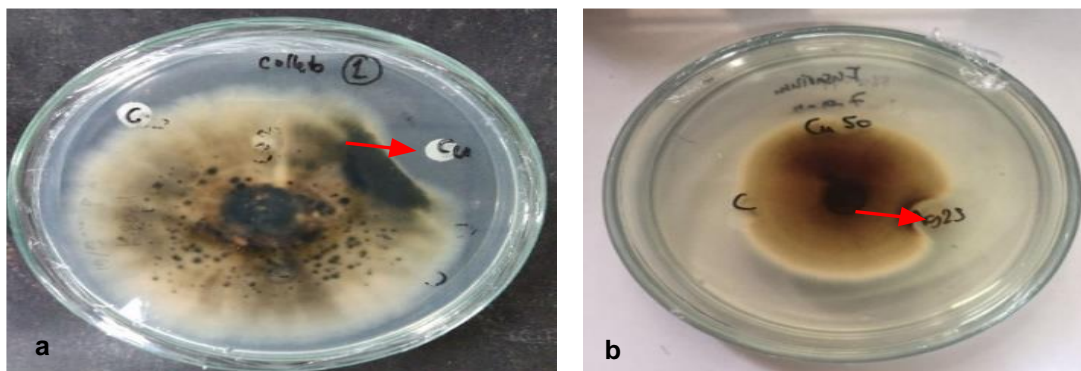
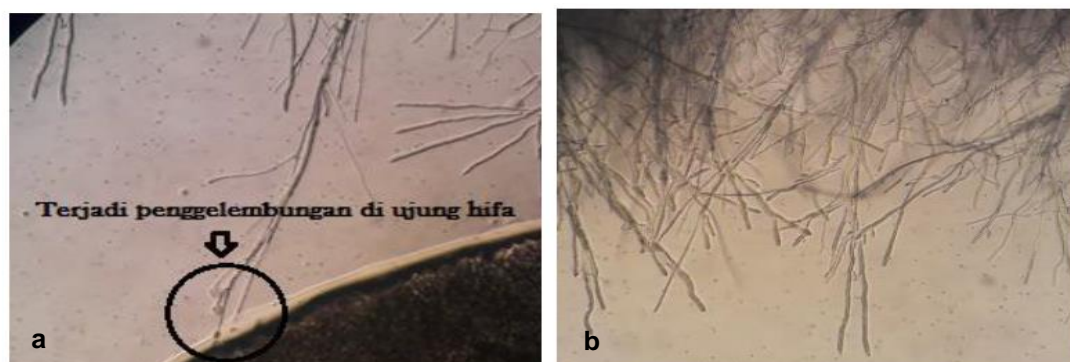
Hasil penapisan awal menunjukkan bahwa dosis Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPS 1000 ppm merupakan dosis yang memiliki respons cukup baik dalam penghambatan pertumbuhan cendawan *Colletotrichum capsici* berdasarkan hasil ini keduanya dipilih menjadi dosis pengujian berikutnya (data tidak disampaikan). Selanjutnya, data pengujian menunjukkan bahwa

pemberian nanokitosan CuChNPs pada kertas cakram pada dosis CuChNPs 1000 ppm menunjukkan respons penghambatan pertumbuhan cendawan *Colletotrichum capsici*. Hal ini dibuktikan dengan munculnya penghambatan pertumbuhan hifa cendawan berupa zona hambat yang jelas setelah inkubasi selama 7 hari yang menghasilkan rata-rata daya hambat sebesar 42,3% (ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 5). Pada pengujian diketahui pula bahwa nanokitosan Ag-ChNPs pada dosis 500 ppm mampu menghambat pertumbuhan hifa cendawan *Colletotrichum capsici* dengan nilai penghambatan sebesar 17,3% (Tabel 1).

Pada penelitian ini, nanokitosan diduga menghambat pertumbuhan apresorium dan miselium cendawan *Colletotrichum capsici*. Kitosan dapat menyebabkan gangguan permeabilitas sel yang menyebabkan kematian sel bila berinteraksi secara langsung dengan sel cendawan dengan penyusun utamanya adalah kitin (Hernandez-Lauzardo *et al.* 2011). Selain itu, penambahan Ag dan Cu semakin meningkatkan aktivitas antimikrob komposit nanokitosan yang diujikan (Chowdappa *et al.* 2014; Choudhary *et al.* 2017). Selain menunjukkan aktivitas antimikrob nanokitosan-Ag/Cu juga menyebabkan perubahan morfologis dan ultrastruktur patogen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Dari pengamatan morfologi jamur secara mikroskopis diketahui bahwa cendawan yang diujikan mengalami beberapa perubahan morfologi setelah diperlakukan dengan larutan Ag-ChNPs.

Tabel 1 Pengujian larutan Cu-ChNPs 1000 ppm dan Ag-ChNPs 500 ppm terhadap *Colletotrichum capsici*

Ulangan	Cu-ChNPs 1000 ppm		Ag-ChNPs 500 ppm	
	Jarak zona bening (cm)	Persentase penghambatan (%)	Jarak zona bening (cm)	Persentase penghambatan (%)
1	1,3	43,48	0,6	20,7
2	1,2	40,00	0,3	11,1
3	1,3	43,48	0,5	20,0
Rerata±SD	1,27±0,05	42,32±2,01	0,47±0,15	17,27±5,35

Gambar 5 a) Uji aktivitas antimikrob larutan Cu-ChNPs 1000 ppm dan b) Ag-ChNPs 500 ppm terhadap patogen *Colletotrichum capsici* ditunjukkan dengan zona penghambatan pertumbuhan hifa setelah 7 HSI (hari setelah inokulasi).

Gambar 6 Perubahan morfologi hifa pada pengamatan dengan mikroskop cahaya pada pembesaran 400x: a) perlakuan kitosan hifa menjadi menggembung/menggada dan b) perlakuan kontrol hifa normal.

Respons Perkembangan Penyakit Antraknosa pada Tindakan Preventif Nanokitosan Ag-ChNPs dan Cu-ChNPS di Rumah Kaca

Pengujian efektivitas biofungisida skala rumah kaca dengan inokulasi buatan berhasil memunculkan gejala penyakit pada cabai yang diujikan. Gejala tersebut merujuk pada penyakit antraknosa yang disebabkan oleh cendawan *Colletotrichum capsici* berupa gejala nekrotik yang seiring dengan waktu membesar menjadi gejala hawar, gejala tersebut muncul terutama pada buah.

Hasil pengamatan pada varietas Tanjung, perlakuan Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPS 1000 ppm berpotensi dalam menghambat perkembangan antraknosa yang ditunjukkan dengan nilai kejadian penyakit yang rendah dibandingkan kontrol, yakni sebesar 11,11 dan 13,33% terhadap 53,33%. Pada varietas Ciko, perlakuan Cu-ChNPS 1000 ppm mampu menahan perkembangan antraknosa hingga pengamatan terakhir. Nilai tersebut sangat berbeda nyata dari perlakuan kontrol yang memiliki kejadian penyakit

sebesar 55,56%. Sementara itu, pada varietas Kencana, perlakuan Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPS 1000 ppm menunjukkan hasil yang berbeda nyata dibandingkan kontrol. Perlakuan Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPS 1000 ppm mampu menekan kejadian penyakit lebih tinggi, yakni menyebabkan kejadian penyakit sebesar 18,89 dan 5,56% dibandingkan dengan kontrol yang menyebabkan kejadian penyakit sebesar 100% (Tabel 2).

Kitosan dilaporkan merupakan suatu biopolimer yang mampu mengendalikan patogen penyakit tanaman seperti bakteri, cendawan, dan virus (Hadrami *et al.* 2010). Penekanan kejadian penyakit yang disebabkan oleh cendawan *Colletotrichum capsici* menjadi lebih efektif disebabkan partikel kitosan-Ag/Cu berukuran lebih kecil, yakni dalam bentuk nano sehingga mudah diserap oleh jaringan tanaman dan bersifat selektif. Material nano mampu meningkatkan spesifisitas dan pengaruh langsung pestisida. Kitosan memiliki gugus fungsional amina ($-NH_2$) bermuatan

Tabel 2 Pengaruh nanopartikel Ag/Cu-nanokitosan pada kejadian penyakit antraknosa yang diinokulasikan secara buatan di rumah kaca

Perlakuan	Kejadian Penyakit (%)
Varietas Tanjung	
Kontrol	53,33 ^a
Ag-ChNPs 500 ppm	11,10 ^b
Cu-ChNPs 1000 ppm	13,33 ^b
Varietas Ciko	
Kontrol	55,56 ^a
Ag-ChNPs 500 ppm	11,11 ^b
Cu-ChNPs 1000 ppm	0,00 ^c
Varietas Kencana	
Kontrol	100,00 ^a
Ag-ChNPs 500 ppm	18,89 ^b
Cu-ChNPs 1000 ppm	5,56 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda berarti berbeda nyata pada uji selang berganda Duncan dengan $\alpha = 5\%$.

positif yang mampu berinteraksi dengan fosfolipid membran sel yang bermuatan negatif. Interaksi tersebut mengakibatkan peningkatan permeabilitas sel dan kebocoran isi sel cendawan (Chatterje *et al.* 2014). Trisnawati *et al.* (2013) menyatakan bahwa kitosan berperan pula dalam mengikat beberapa elemen nutrisi penting sehingga tidak tersedia bagi cendawan dan menyebabkan pertumbuhan hifa menjadi tidak normal. Kitosan diduga pula mampu menembus ke dalam dinding sel, yang selanjutnya berinteraksi dengan DNA dan memengaruhi kerja fungsi protein dan enzim (Younes *et al.* 2014). Selain kitosan, penambahan senyawa Ag/Cu nanopartikel mampu meningkatkan aktivitas antipatogen tanaman. Pada konsentrasi sebesar 0,12% nanopartikel Cu-kitosan dilaporkan mampu menyebabkan penghambatan pertumbuhan miselia patogen *Alternaria solani* dan *Fusarium oxysporum* berkisar 70,5–73,5% (Saharan *et al.* 2015). Penggunaan nanokitosan dilaporkan juga efektif dalam mengendalikan cendawan patogen terbawa benih (Sundari *et al.* 2016). Khairani *et al.* (2017) menyatakan bahwa teknik pengendalian penyakit dengan metode kombinasi dengan kitosan mampu menekan perkembangan penyakit, yakni penekanan terhadap periode laten, insidensi, keparahan, laju infeksi, dan nilai AUDPC dari penyakit busuk batang yang disebabkan oleh cendawan *Botryodiplodia theobromae*.

KESIMPULAN

Penyakit tanaman yang sering ditemukan menyerang cabai salah satunya adalah penyakit busuk buah atau antraknosa yang disebabkan oleh cendawan *Colletotrichum capsici*. Penggunaan pestisida untuk mengendalikan penyakit antraknosa yang secara terus menerus berdampak pada lingkungan dan manusia. Kemajuan dalam teknologi biopestisida seperti penggunaan nanopestisida lebih efektif, selektif, atau spesifik yang menyebabkan polusi lingkungan dan racun yang lebih sedikit bagi mamalia juga dibandingkan dengan pestisida konvensional. Pada pengujian

skala laboratorium Ag-ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPs 1000 ppm mampu menghambat pertumbuhan cendawan *Colletotrichum capsici* sebesar 17,3 dan 42,3%. Sementara itu, pada skala rumah kaca perlakuan secara signifikan berpotensi menghambat perkembangan *Colletotrichum capsici* dengan menekan kejadian penyakit baik pada varietas Tanjung, Ciko, dan Kencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Acedo AL Jr, Weinberger K. 2010. *Vegetables postharvest: Simple techniques for increased income and market*. AVRDC-The World Vegetable Center. Taiwan and GTZ-Regional Economic Development Program. Cambodia (KH). Hal. 37.
- Ali A, Muhammad MTM, Sijam K & Siddiqui Y. 2010. Potential of chitosan coating in delaying the postharvest anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of Ekotika II papaya. *International Journal of Food Science and Technology*. 45(10): 2134–2140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02389.x>
- Chatterje S, Chatterje BP, Guha AK. 2014. A study on antifungal activity of water soluble chitosan against *Macrophomina phaseolina*. *Internasional Journal of Biological Acromolecules*. 67: 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.008>
- Chowdappa P, Gowda S, Chethana CS, Madhura S. 2014. Antifungal activity of chitosan-silver nanoparticle composite against *Colletotrichum gloeosporioides* associated with mango anthracnose. *African Journal of Microbiology Research*. 8(17): 1803–1812. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6584>
- Choudhary RC, RV Kumaraswamy, Kumari S, Ajay P, Raliya R, Biswas P, Saharan V. 2017. *Synthesis, Characterization, and Application of Chitosan Nanomaterials Loaded with Zinc and Copper for Plant Growth and Protection*. In: Nanotechnology: An Agricultural Paradigm. Singapore (SG): Springer Nature Singapore Pte Ltd. Hal. 227–247. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4573-8_10
- Diao YZ, Zhang C, Liu F, Wang WZ, Liu L, Cai L, Liu XL. 2017. *Colletotrichum* species causing anthracnose disease of chili in China. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 38: 20–37. <https://doi.org/10.3767/003158517X692788>
- El Hadrami A, Adam LR, El Hadrami I, Daayf F. 2010. Review: Chitosan in Plant Protection. *Marine Drugs*. 8: 968–987. <https://doi.org/10.3390/md8040968>
- Ghoname AA, El-Nemr MA, RAbdel-Mawgoudand AM, El-Tohamy WA. 2010. Enhancement of Sweet Pepper Crop Growth and Production by Application of Biological, Organic and Nutritional Solutions.

- Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 6(3): 349–355.
- Ghormade V, Deshpande MV, Paknikar KM. 2011. Perspective for nanobiotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*. 29(6): 792–803. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.007>
- Hadrami AE, Adam LR, Hadrami IE, Daayf F. 2010. Chitosan in plant protection. *Marine Drugs*. 2010(8): 968–987. <https://doi.org/10.3390/md8040968>
- Hamdayanty, Yunita R, Amin NN, Damayanti TA. 2012. Pemanfaatan chitosan untuk mengendalikan antraknosa pada pepaya (*Colletotrichum gloeosporioides*) dan meningkatkan daya simpan buah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 8(4): 97–102. <https://doi.org/10.14692/jfi.8.4.97>
- Harahap TFH, Lubis L, Hasanuddin. 2013. Efek temperatur terhadap virulensi jamur *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Sacc. penyebab penyakit Antraknosa pada tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(1): 411–420.
- Harpenas A, Dermawan R. 2010. *Budi Daya Cabai Unggul*. Jakarta (ID): Kanisius.
- Hartati S, Natawigena, WD, Istifadah N, Dewi SR. 2018. Penambahan Gula untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Antagonisme Khamir *Rhodotorula minuta* terhadap *Colletotrichum acutatum* Penyebab Antraknosa Cabai secara In-vitro. *Agrikultura*. 29(2): 89–99.
- Hernandez-Lauzardo AN, Miguel GV, Maria GG. 2011. Current status of action mode and effect of chitosan against phytopathogens fungi. *African Journal of Microbiology Research*. 5(25): 4243–4247. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.104>
- Kalantari S, Rouhani M, Samih M. 2012. Insecticidal effect of silica and silver nanoparticles on cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Col: Bruchidae). *Journal of Entomological Research*. 4(4): 297–305.
- Khairani HS, Sinaga MS, Mutaqin KH. 2017. Mekanisme Pengendalian Penyakit Busuk Batang Jeruk oleh Khamir, Kitosan, Cendawan Mikoriza Arbuskular, dan Bakteri Simbiotiknya. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 13(1): 17–25. <https://doi.org/10.14692/jfi.13.1.17>
- Muzzarelli RAA. 2010. Chitins and chitosans as immunoadjuvants and nonallergenic drug carriers. *Marine Drugs*. 8: 292–312.
- Oo MM, Oh SK. 2016. Chilli anthracnose (*Colletotrichum* spp.) disease and its management approach. *Korean Journal of Agricultural Science*. 43(2): 153–162. <https://doi.org/10.7744/kjoas.2016.0018>
- Prathibha VH, Rao AM, Ramesh R, Nanda C. 2013. Estimation of fruit quality parameters in anthracnose infected chilli fruits. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*. 4(2): 57–60.
- Rismana E, Nizar N, Bunga O, Kusumaningrum S, Marhamah M. 2014. Pengujian Aktivitas Antiacne Nanopartikel Kitosan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana*). *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*. 24(1): 19–27. <https://doi.org/10.22435/mpk.v24i1.3483.19-27>
- Saharan Vinod, G Sharma, M Yadav, MK Choudhary, SS Sharma, Ajay Pal, R Raliya P Biswas. 2015. Synthesis and in vitro antifungal efficacy of Cu-chitosan nanoparticles against pathogenic fungi of tomato. *International Journal of Biological Macromolecules*. 75: 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.01.027>
- Sundari S, Singh A, Yadava P. 2016. Review of current research advances in microbial and phyto-biopesticides. *International Journal of Biotechnology Biomedical Sciences*. 2(1): 73–77.
- Sutedjo M, Mulyani, Kartasapoetra AG, Sastroatmodjo RDS. 1991. *Mikrobiologi Tanah*. Jakarta (ID): PT Rineka Cipta.
- Suwor P, Thummabenjapone P, Sanitchon J, Kumar S, Techawongstien S. 2015. Phenotypic and genotypic responses of chili (*Capsicum annuum* L.) progressive lines with different resistant genes against anthracnose pathogen (*Colletotrichum* spp.). *European Journal of Plant Pathology*. 143(4): 725–736. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0723-7>
- Tiyaboonchai W. 2013. Chitosan nanoparticles: a promising system for drug delivery. *Naresuan University Journal*. 11(3): 51–66.
- Trisnawati E, Andesti D, Saleh A. 2013. Pembuatan kitosan dari limbah cangkang kepiting sebagai bahan pengawet buah dukudengan variasi lama pengawetan. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(19): 17–26.
- Younes I, Sellimi S, Rinaudo M, Jellouli K, Moncef N. 2014. Influence of acetylation degree and molecular weight of homogenous chitosans on antibacterial and antifungal activities. *International Journal of Food Microbiology*. 185: 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.029>
- Zadoks JC and Schein RD. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. New York (ID): Oxford University Press.
- Zain NM, Stapley AGF, Shama G. 2014. Green synthesis of silver and copper nanoparticles using Ascorbic acid and Chitosan for antimicrobial applications. *Carbohydrate polymers*. 112: 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.081>